

USP 5,406,848 — D1 —

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平4-148833

⑬ Int. Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成4年(1992)5月21日

G 01 L 1/14
1/16
5/16
G 01 P 15/125
G 01 R 33/02

A 8803-2F
8803-2F
8803-2F
7187-2F
8203-2G

審査請求 未請求 請求項の数 8 (全16頁)

⑮ 発明の名称 力・加速度・磁気の検出装置

⑯ 特 願 平2-274299

⑰ 出 願 平2(1990)10月12日

⑱ 発 明 者 岡 田 和 廣 埼玉県上尾市菅谷4丁目73番地

⑲ 出 願 人 株 式 会 社 ワ コ ー 埼玉県上尾市菅谷4丁目73番地

⑳ 代 理 人 弁 理 士 志 村 浩

明 細 書

1. 発明の名称

力・加速度・磁気の検出装置

2. 特許請求の範囲

(1) 装置筐体に固定される固定部と、外部からの力が伝達される作用部と、前記固定部と前記作用部との間に形成され可撓性をもった可撓部と、を有する可撓基板と、

前記可撓基板に対向するように、装置筐体に固定された固定基板と、

外部からの力を受け、この力を前記可撓基板の前記作用部に伝達する作用体と、

前記可撓基板の前記固定基板に対する対向面に形成された変位電極と、

前記固定基板の前記可撓基板に対する対向面に形成された固定電極と、

を備え、前記変位電極と前記固定電極との間に生じる静電容量の変化に基づいて、前記作用体に

作用した力を検出することを特徴とする力検出装置。

(2) 請求項1に記載の力検出装置において、

変位電極または固定電極のいずれか一方、あるいは双方を、電気的に独立した複数の局在電極により構成し、互いに対向する電極により複数の容量素子を形成し、これら各容量素子の静電容量の変化に基づいて、作用体に作用した力を多次元の各成分ごとに検出するようにしたことを特徴とする力検出装置。

(3) 請求項2に記載の力検出装置において、

変位電極または固定電極のいずれか一方、あるいは双方を、電極形成面上で直交する第1の軸および第2の軸についてのそれぞれ正および負方向に配された4グループの局在電極により構成し、この4グループの局在電極を用いてそれぞれ4グループの容量素子を形成し、

前記4グループの容量素子のうち前記第1の軸上にある2グループに属する容量素子の静電容量の差によって前記第1の軸方向成分の力を検出し、

前記4グループの容量素子のうち前記第2の軸上にある2グループに属する容量素子の静電容量の差によって前記第2の軸方向成分の力を検出し、前記4グループに属する容量素子の静電容量の和によって前記第1の軸および前記第2の軸に直交する第3の軸方向成分の力を検出するようにしたことを特徴とする力検出装置。

(4) 請求項1～3のいずれかに記載の力検出装置において、

固定基板、可撓基板、補助基板、の順にそれぞれが対向して並ぶように、更に補助基板を設け、

前記可撓基板の前記補助基板に対する対向面に第1補助電極を形成し、

前記補助基板の前記可撓基板に対する対向面に第2補助電極を形成し、

前記第1補助電極と前記第2補助電極との間あるいは変位電極と固定電極との間に所定の電圧を印加し、両者間に作用するクーロン力によって前記可撓基板に変位を生じさせ、外部から力が作用したのと等価な状態におくことができるようにし

— 3 —

を電気信号に変換して前記両電極に出力する圧電素子と、

を備え、前記作用体に作用した力を前記圧電素子から出力される電気信号によって検出することを特徴とする力検出装置。

(7) 請求項1～6のいずれかに記載の検出装置において、

作用体に作用する加速度に基づいて発生する力を検出することにより、加速度の検出を行い得るようにしたことを特徴とする加速度検出装置。

(8) 請求項1～6のいずれかに記載の検出装置において、

作用体を磁性材料によって構成し、この作用体に作用する磁力に基づいて発生する力を検出することにより、磁気の検出を行い得るようにしたことを特徴とする磁気検出装置。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は力検出装置、特に多次元の各成分ごと

たことを特徴とする力検出装置。

(5) 請求項4に記載の力検出装置において、可撓基板を導電性材料で構成し、第1補助電極と変位電極とが、この導電性の可撓基板の一部により形成されていることを特徴とする力検出装置。

(6) 装置筐体に固定される固定部と、外部からの力が伝達される作用部と、前記固定部と前記作用部との間に形成され可撓性をもった可撓部と、を有する可撓基板と、

前記可撓基板に対向するように、装置筐体に固定された固定基板と、

外部からの力を受け、この力を前記可撓基板の前記作用部に伝達する作用体と、

前記可撓基板の前記固定基板に対する対向面に形成された変位電極と、

前記固定基板の前記可撓基板に対する対向面に形成された固定電極と、

前記変位電極と前記固定電極との間に挟まれるように形成され、前記両電極によって加わる圧力

— 4 —

に力を検出するのに適し、加速度や磁気の検出にも適用しうる力検出装置に関する。

〔従来の技術〕

自動車産業や機械産業などでは、力、加速度、磁気といった物理量を正確に検出できる検出装置の需要が高まっている。特に、二次元あるいは三次元の各成分ごとにこれらの物理量を検出しうる小型の装置が望まれている。

このような需要に応えるため、シリコンなどの半導体基板にゲージ抵抗を形成し、外部から加わる力に基づいて基板に生じる機械的な歪みを、ピエゾ抵抗効果を利用して電気信号に変換する力検出装置が提案されている。この力検出装置の検出部に、重錘体を取り付ければ、重錘体に加わる加速度を力として検出する加速度検出装置が実現でき、磁性体を取り付ければ、磁性体に作用する磁気を力として検出する磁気検出装置が実現できる。

たとえば、特許協力条約に基づく国際出願に係るPCT/JP88/00395号明細書およびPCT/JP88/00930号明細書には、上

— 5 —

— 6 —

述の原理に基づく力検出装置、加速度検出装置、磁気検出装置が開示されている。

〔発明が解決しようとする課題〕

一般に、ゲージ抵抗やピエゾ抵抗係数には温度依存性があるため、上述した検出装置では、使用する環境の温度に変動が生じると検出値が誤差を含むようになる。したがって、正確な測定を行うためには、温度補償を行う必要がある。特に、自動車などの分野で用いる場合、 $-40^{\circ}\text{C} \sim +120^{\circ}\text{C}$ というかなり広い動作温度範囲について温度補償が必要になる。

また、上述した検出装置を製造するには、半導体基板を処理する高度なプロセスが必要になり、イオン注入装置などの高価な装置も必要になる。このため、製造コストが高くなるという問題がある。

そこで本発明は、温度補償を行うことなく、力、加速度、磁気などの物理量を検出することができ、しかも安価に供給しうる検出装置を提供することを目的とする。

— 7 —

いは双方を、電気的に独立した複数の局在電極により構成し、互いに対向する電極により複数の容量素子を形成し、これら各容量素子の静電容量の変化に基づいて、作用体に作用した力を多次元の各成分ごとに検出するようにしたものである。

(3) 本願第3の発明は、上述の第2の発明による力検出装置において、

変位電極または固定電極のいずれか一方、あるいは双方を、電極形成面上で直交する第1の軸および第2の軸についてのそれぞれ正および負方向に配された4グループの局在電極により構成し、この4グループの局在電極を用いてそれぞれ4グループの容量素子を形成し、

4グループの容量素子のうち第1の軸上にある2グループに属する容量素子の静電容量の差によって第1の軸方向成分の力を検出し、

4グループの容量素子のうち第2の軸上にある2グループに属する容量素子の静電容量の差によって第2の軸方向成分の力を検出し、

4グループに属する容量素子の静電容量の和に

〔課題を解決するための手段〕

(1) 本願第1の発明は、力検出装置において、装置筐体に固定される固定部と、外部からの力が伝達される作用部と、固定部と作用部との間に形成され可撓性をもった可撓部と、を有する可撓基板と、

この可撓基板に対向するように、装置筐体に固定された固定基板と、

外部からの力を受け、この力を可撓基板の作用部に伝達する作用体と、

可撓基板の固定基板に対する対向面に形成された変位電極と、

固定基板の可撓基板に対する対向面に形成された固定電極と、

を設け、変位電極と固定電極との間に生じる静電容量の変化に基づいて、作用体に作用した力を検出するようにしたものである。

(2) 本願第2の発明は、上述の第1の発明による力検出装置において、

変位電極または固定電極のいずれか一方、ある

— 8 —

よって第1の軸および第2の軸に直交する第3の軸方向成分の力を検出するようにしたものである。

(4) 本願第4の発明は、上述の第1～第3の発明による力検出装置において、

固定基板、可撓基板、補助基板、の順にそれぞれが対向して並ぶように、更に補助基板を設け、

可撓基板の補助基板に対する対向面に第1補助電極を形成し、

補助基板の可撓基板に対する対向面に第2補助電極を形成し、

第1補助電極と第2補助電極との間あるいは変位電極と固定電極との間に所定の電圧を印加し、両者間に作用するクーロン力によって可撓基板に変位を生じさせ、外部から力が作用したのと等価な状態におくことができるようにしたものである。

(5) 本願第5の発明は、上述の第4の発明による力検出装置において、

可撓基板を導電性材料で構成し、第1補助電極と変位電極とを、この導電性の可撓基板の一部により形成するようにしたものである。

— 9 —

— 10 —

(6) 本願第6の発明は、力検出装置において、装置筐体に固定される固定部と、外部からの力が伝達される作用部と、固定部と作用部との間に形成され可撓性をもった可撓部と、を有する可撓基板と、

この可撓基板に対向するように、装置筐体に固定された固定基板と、

外部からの力を受け、この力を可撓基板の作用部に伝達する作用体と、

可撓基板の固定基板に対する対向面に形成された変位電極と、

固定基板の可撓基板に対する対向面に形成された固定電極と、

変位電極と固定電極との間に挟まれるように形成され、両電極によって加わる圧力を電気信号に変換して両電極に出力する圧電素子と、

を設け、作用体に作用した力を圧電素子から出力される電気信号によって検出するようにしたものである。

(7) 本願第7の発明は、上述の第1～6の発

明による検出装置において、

作用体に作用する加速度に基づいて発生する力を検出することにより、加速度の検出を行い得るようにしたものである。

(8) 本願第8の発明は、上述の第1～6の発明による検出装置において、

作用体を磁性材料によって構成し、この作用体に作用する磁力に基づいて発生する力を検出することにより、磁気の検出を行い得るようにしたものである。

〔作 用〕

(1) 本願第1の発明による力検出装置では、外部からの力が作用体に加わると、可撓基板が撓み、変位電極と固定電極との間の距離が変わることになる。したがって、両電極間の静電容量が変化する。この静電容量の変化は、外部から加えられた力に依存したものであり、静電容量の変化を検出することにより力の検出が可能になる。

(2) 本願第2の発明による力検出装置では、変位電極および固定電極の少なくとも一方が、複

— 1 1 —

数の局在電極によって構成される。この局在電極によって形成される容量素子の静電容量の変化は、作用する力の方向および局在電極の位置に依存する。したがって、複数の局在電極によって形成される複数の容量素子の静電容量の変化は、作用した力の方向に関する情報を含むことになる。こうして、作用した力を多次元の各成分ごとに検出することができる。

(3) 本願第3の発明による力検出装置では、4グループの局在電極が形成される。電極形成面をXY平面と定義したとき、各グループは、それぞれX軸の正負両側と、Y軸の正負両側とに形成される。作用体にX軸方向の力が作用すると、X軸の正負両側に位置する両グループについての静電容量は相補的に変化するため、両グループについての静電容量の差によりX軸方向の力を検出することができる。同様に、Y軸の正負両側に位置する両グループについての静電容量の差によりY軸方向の力を検出することができる。作用体にZ軸方向の力が作用すると、4グループについての

— 1 2 —

静電容量は同方向に変化するため、これらの和によりZ軸方向の力を検出することができる。

(4) 本願第4の発明による力検出装置では、各電極の間に所定の電圧を印加すると、両者間に作用するクーロン力によって可撓基板に変位を生じさせることができる。すなわち、外部からの力が作用したのと等価な状態におくことができる。このような状態をつくり出すことができれば、装置が正常に動作するか否かを試験することが容易になる。

(5) 本願第5の発明による力検出装置では、第1補助電極と変位電極とが、可撓基板の一部により形成される。したがって、可撓基板上には、特にあらためて電極を形成する工程は必要はなく、構造が単純になるとともに製造コストを低下させることができる。

(6) 本願第6の発明による力検出装置では、外部からの力が作用体に加わると、可撓基板が撓み、変位電極と固定電極とによって挟まれた圧電素子に圧力が加わることになる。この圧力は電気

— 1 3 —

— 1 4 —

信号として出力されるので、外力をそのまま電気信号として検出することが可能になる。

(7) 本願第7の発明による検出装置では、作用体に作用する加速度に基づいて発生する力が検出される。したがって、この検出値は加速度に対応したものとなり、加速度検出装置として利用できる。

(8) 本願第8の発明による検出装置では、磁性材料からなる作用体に作用する磁力に基づいて発生する力が検出される。したがって、この検出値は磁気に対応したものとなり、磁気検出装置として利用できる。

(実施例)

以下、本発明を図示する実施例に基づいて詳述する。ここで説明する実施例は、本発明に係る力検出装置を加速度検出装置として用いた例である。

基本的な実施例

第1図は、本発明の基本的な実施例に係る加速度検出装置の構造を示す側断面図である。この装置の主たる構成要素は、固定基板10、可撓基板

20、作用体30、そして装置筐体40である。

第2図に、固定基板10の下面図を示す。第2図の固定基板10をX軸に沿って切断した断面が第1図に示されている。固定基板10は、図示のとおり円盤状の基板であり、周囲は装置筐体40に固定されている。この下面には、同じく円盤状の固定電極11が形成されている。一方、第3図に、可撓基板20の上面図を示す。第3図の可撓基板20をX軸に沿って切断した断面が第1図に示されている。可撓基板20も、図示のとおり円盤状の基板であり、周囲は装置筐体40に固定されている。この上面には、四分円盤状の変位電極21~24が形成されている。作用体30は、その上面が第3図に破線で示されているように、円柱状をしており、可撓基板20の下面に、同軸接合されている。装置筐体40は、円筒状をしており、固定基板10および可撓基板20の周囲を固着支持している。

固定基板10および可撓基板20は、互いに平行な位置に所定間隔をおいて配設されている。い

— 15 —

ずれも円盤状の基板であるが、固定基板10は剛性が高く撓みを生じにくい基板であるのに対し、可撓基板20は可撓性をもち、力が加わると撓みを生じる基板となっている。いま、第1図に示すように、作用体30の重心に作用点Pを定義し、この作用点Pを原点とするXYZ三次元座標系を図のように定義する。すなわち、第1図の右方向にX軸、上方向にZ軸、紙面に対して垂直に紙面裏側へ向かう方向にY軸、をそれぞれ定義する。

ここで、この装置全体をたとえば自動車に搭載したとすると、自動車の走行に基づき作用体30に加速度が加わることになる。この加速度により、作用点Pに外力が作用する。作用点Pに力が作用していない状態では、第1図に示すように、固定電極11と変位電極21~24とは所定間隔をおいて平行な状態を保っている。ところが、たとえば、作用点PにX軸方向の力 F_x が作用すると、この力 F_x は可撓基板20に対してモーメント力を生じさせ、第4図に示すように、可撓基板20に撓みが生じることになる。この撓みにより、変

— 16 —

位電極21と固定電極11との間隔は大きくなるが、変位電極23と固定電極11との間隔は小さくなる。作用点Pに作用した力が逆向きの $-F_x$ であったとすると、これと逆の関係の撓みが生じることになる。一方、Y方向の力 F_y または $-F_y$ が作用した場合は、変位電極22と固定電極11との間隔、および変位電極24と固定電極11との間隔、について同様の変化が生じる。また、Z軸方向の力 F_z が作用した場合は、第5図に示すように、変位電極21~24のすべてが固定電極11に接近することになり、逆向きの力 $-F_z$ が作用した場合は、変位電極21~24のすべてが固定電極11から遠ざかるようになる。

ここで、各電極によって構成される容量素子について考えてみる。第2図に示す固定基板10の下面と、第3図に示す可撓基板20の上面とは、互いに対向する面となる。したがって、電極間の対向関係は、変位電極21~24のそれぞれが、固定電極11の各対向部分と向かい合うことになる。別言すれば、固定電極11は1枚の共通電極

— 17 —

— 18 —

となるが、変位電極 21~24 はそれぞれ四分円の領域に局在する局在電極となる。共通電極は 1 枚であっても、4 枚の局在電極はそれぞれ電氣的に独立しているため、電氣的特性に関しては、4 つのグループの容量素子が形成できる。第 1 のグループに属する容量素子は、X 軸の負方向に配された変位電極 21 と固定電極 11 との組み合わせであり、第 2 のグループに属する容量素子は、Y 軸の正方向に配された変位電極 22 と固定電極 11 との組み合わせであり、第 3 のグループに属する容量素子は、X 軸の正方向に配された変位電極 23 と固定電極 11 との組み合わせであり、第 4 のグループに属する容量素子は、Y 軸の負方向に配された変位電極 24 と固定電極 11 との組み合わせである。いま、これらの各容量素子の静電容量を C_1 , C_2 , C_3 , C_4 と表わすことにする。第 1 図に示すように、作用点 P に力が作用していない状態では、各容量素子の電極間隔はいずれも同一の寸法に保たれており、静電容量はいずれも標準値 C_0 をとる。すなわち、 $C_1 = C_2 = C_3$

$= C_4 = C_0$ である。ところが、第 4 図あるいは第 5 図に示すように、作用点 P に力が作用し、可撓基板 20 に撓みが生じると、各容量素子の電極間隔は変化し、その静電容量も標準値 C_0 とは異なった値となる。一般に、容量素子の静電容量 C は、電極面積を S 、電極間隔を d 、誘電率を ϵ とすると、

$$C = \epsilon S / d$$

で定まる。したがって、電極間隔が接近すると静電容量 C は大きくなり、遠ざかると静電容量 C は小さくなる。

たとえば、第 4 図に示すように、作用点 P に X 軸方向の力 F_x が作用すると、変位電極 21 と固定電極 11 との間隔は遠ざかるため、 $C_1 < C_0$ となるが、変位電極 23 と固定電極 11 との間隔は接近するため、 $C_3 > C_0$ となる。このとき、変位電極 22 および 24 と、固定電極 11 との間隔は、部分的に接近し、部分的に遠ざかるという状態になるため、両部分が相殺しあい、 $C_2 = C_4 = C_0$ と静電容量に変化は生じない。一方、

— 19 —

第 5 図に示すように、作用点 P に Z 軸方向の力 F_z が作用すると、変位電極 21~24 と固定電極 11 との間隔はいずれも接近し、($C_1 \sim C_4$) $> C_0$ となる。このように、作用する力の方向によって、4 グループの容量素子の静電容量の変化のパターンは異なる。

第 6 図は、この 4 グループの容量素子の静電容量 $C_1 \sim C_4$ の変化のパターンを示す表である。この表で、「0」は静電容量に変化がない（すなわち、標準値 C_0 のままの値をとる）ことを示し、「+」は静電容量が大きくなることを示し、「-」は静電容量が小さくなることを示す。たとえば、第 6 図の F_x の欄は、第 4 図に示すように、作用点 P に X 軸方向の力 F_x が作用したときの各静電容量 $C_1 \sim C_4$ の変化を示しており、前述のように、 C_1 は小さくなり、 C_3 は大きくなり、 C_2 および C_4 は変化しない。このように、各静電容量の変化のパターンに基づいて、作用した力の方向を認識することができる。また、変化の度合い（すなわち、静電容量がどれほど大きく、あるいは

— 20 —

小さくなったか）をみることにより、作用した力の大きさを認識することができる。

第 7 図に、作用した力を各軸方向成分ごとに検出する基本回路を示す。変換器 51~54 は、各容量素子のもつ静電容量 $C_1 \sim C_4$ を、電圧値 $V_1 \sim V_4$ に変換する回路で構成される。たとえば、CR 発信器などによって、静電容量値 C を周波数値 f に変換し、続いて周波数/電圧変換回路により、この周波数値 f を更に電圧値 V に変換するような構成をとればよい。もちろん、静電容量値を直接電圧値に変換するような手段を用いてもよい。差動増幅器 55 は電圧値 V_1 と V_3 との差をとり、これを検出すべき力の X 軸方向成分 $\pm F_x$ として出力する回路である。第 6 図の F_x および $-F_x$ の欄を参照すればわかるとおり、X 軸方向成分 $\pm F_x$ は、 C_1 と C_3 との差をとることによって求まる。また、差動増幅器 56 は電圧値 V_2 と V_4 との差をとり、これを検出すべき力の Y 軸方向成分 $\pm F_y$ として出力する回路である。第 6 図の F_y および $-F_y$ の欄を参照すればわか

— 21 —

— 22 —

るとおり、Y軸方向成分 $\pm F_y$ は、C2とC4との差をとることによって求まる。更に、加算器57は電圧値 $V_1 \sim V_4$ の和をとり、これを検出すべき力のZ軸方向成分 $\pm F_z$ として出力する回路である。第6図の F_z および $-F_z$ の値を参照すればわかるとおり、Z軸方向成分 $\pm F_z$ は、C1～C4の和をとることによって求まる。

以上のような原理により、第2図および第3図に示す各電極に所定の配線を施し、第7図に示すような検出回路を構成すれば、作用点Pに作用した力を三次元の各軸方向成分ごとに電気信号として検出することが可能である。すなわち、作用体30に作用した加速度を三次元の各軸方向成分ごとに電気信号として検出できる。各軸方向成分の検出は、全く独立して行われるため、他軸への干渉が起こらず、正確な検出が可能である。また、検出値の温度依存性も無視しうる程度のものであり、温度補償のための処理は必要ない。しかも、基板に電極を形成するだけの単純な構造で実現できるため、製造コストも安価である。

— 23 —

第8図に示す実施例は、固定基板10a、可撓基板20a、作用体30a、のすべてに金属を使用した例である。可撓基板20aと作用体30aとは一体に形成されている。もちろん、これらを別々に作った後、互いに接合するようにしてもよい。装置筐体40は、たとえば、金属やプラスチックなどで形成され、内面に形成された支持溝41に各基板の周囲を嵌合させて固着支持している。固定基板10a自身がそのまま固定電極11として機能するため、固定電極11を別個に形成する必要はない。変位電極21a～24aは、可撓基板20aが金属であるため、その上に直接形成することはできない。そこで、ガラスやセラミックといった材質による絶縁層25aを介して、変位電極21a～24aを可撓基板20a上に形成している。なお、可撓基板20aに可撓性をもたせるためには、その厚みを小さくしたり、波状にして変形しやすくすればよい。

第9図に示す実施例は、固定基板10b、可撓基板20b、作用体30b、のすべてにガラスや

なお、第7図の検出回路は一例として示したものであり、この他の回路を用いてもかまわない。たとえば、CR発振回路を用いて静電容量値を周波数値に変換し、これをマイクロプロセッサに入力し、デジタル演算によって三次元の加速度を求めるようにしてもよい。

各部の材質を示す実施例

続いて、上述した力検出装置を構成する各部の材質について説明する。上述した原理による検出を行うために、材質の面では次のような条件を満たせばよい。

- (1) 各電極が導電性の材質からなること。
- (2) 各局在電極は電気的に互いに絶縁されていること。
- (3) 可撓基板は可撓性をもった材質からなること。

このような条件を満たす限り、どのような材質を用いてもかまわないが、ここでは、実用的な材質を用いた好ましい実施例をいくつか述べることにする。

— 24 —

セラミックといった絶縁体を使用した例である。可撓基板20bと作用体30bとは一体に形成されている。装置筐体40は、金属またはプラスチックで形成され、内面に形成された支持溝41に各基板の周囲を嵌合させて固着支持している。固定基板10bの下面には、金属からなる固定電極11bが形成され、可撓基板20bの上面には、金属からなる変位電極21b～24bが形成されている。可撓基板20bに可撓性をもたせるためには、その厚みを小さくしてもよいし、ガラスやセラミックの代わりに可撓性をもった合成樹脂を用いるようにすればよい。あるいは、部分的に貫通孔を設けることにより変形しやすくしてもよい。

第10図に示す実施例は、固定基板10c、可撓基板20c、作用体30c、のすべてにシリコンなどの半導体を使用した例である。可撓基板20cと作用体30cとは一体に形成されている。装置筐体40は、金属またはプラスチックで形成され、内面に形成された支持溝41に各基板の周囲を嵌合させて固着支持している。固定基板

— 25 —

— 26 —

10cの下面内部に位置する固定電極11c、および可撓基板20cの上面内部に位置する変位電極21c~24cは、不純物を高濃度で拡散することにより形成されたものである。可撓基板20cに可撓性をもたせるためには、やはりその厚みを小さくしたり部分的に貫通孔を設ければよい。

以上、各構成要素の材料として、金属、絶縁体、半導体を用いた例を説明したが、各構成要素にこれらの材料の組み合わせを用いてもかまわない。

三軸方向成分を独立した電極で検出する実施例

前述した基本的な実施例では、第7図に示すような検出回路を示した。この検出回路では、 $\pm F_x$ あるいは $\pm F_y$ を検出するための容量素子と、 $\pm F_z$ を検出するための容量素子と、は同一のものを兼用していた。別言すれば、1枚の局在電極を兼用して用いることにより、二軸の方向成分を検出していた。ここで述べる実施例では、三軸方向成分を、全く独立した専用電極によって検出している。第11図に、この実施例で用いる可

撓基板20dの上面図を示す。第3図に示す基本的な実施例における可撓基板20と比べ、局在電極の形成パターンがやや複雑であり、合計で8枚の局在電極が形成されている。この8枚の局在電極は、基本的にはやはり4つのグループに分類される。第1のグループに属する局在電極は、X軸の負方向に配された電極21dと21eであり、第2のグループに属する局在電極は、Y軸の正方向に配された電極22dと22eであり、第3のグループに属する局在電極は、X軸の正方向に配された電極23dと23eであり、第4のグループに属する局在電極は、Y軸の負方向に配された電極24dと24eである。

いま、第11図でドットによるハッチングを施した4つの電極21d~24dのそれぞれと、これに対向する固定電極11との組み合わせからなる4つの容量素子の静電容量をそれぞれC1~C4とし、斜線によるハッチングを施した4つの電極21e~24eのそれぞれと、これに対向する固定電極11との組み合わせからなる4つの容

— 27 —

量素子の静電容量をそれぞれC1'~C4'とする。そして、これら8つの容量素子について、第12図に示すような検出回路を構成する。ここで、変換器51~54は、静電容量C1~C4を電圧V1~V4に変換する回路であり、差動増幅器55および56は入力した2つの電圧値の差を増幅して出力する回路である。差動増幅器55および56が、それぞれ $\pm F_x$ および $\pm F_y$ の検出値を出力するのは、前述の基本的な実施例と同じである。この実施例の特徴は、4つの静電容量C1'~C4'を並列接続し、変換器58によってこれらの和に相当する電圧V5を発生させ、これを $\pm F_z$ の検出値として出力する点である。この検出原理を、第11図に示す局在電極について考えると、電極21dと23dによって $\pm F_x$ が検出され、電極22dと24dによって $\pm F_y$ が検出され、電極21e、22e、23e、24eによって $\pm F_z$ が検出されることになる。このように、三軸方向成分をそれぞれ別個独立した電極で検出することができる。

— 29 —

— 28 —

以上、説明の便宜上、電極21e~24eをそれぞれ独立した電極で構成した例を示したが、実際には第12図の回路図から明らかなように、電極21e~24eで構成される容量素子は並列接続される。したがって、これら4枚の電極は可撓基板20d上で一体形成してもよい。

本実施例は、各軸方向成分ごとの検出感度を調整する場合に便利である。たとえば、第11図において、図の斜線によるハッチングを施した電極21e、22e、23e、24eの面積を広くすれば、2軸方向の検出感度を高めることができる。一般に、三軸方向成分を検出することができる装置では、三軸それぞれの検出感度がほぼ等しくなるように設計するのが好ましい。この実施例では、第11図の斜線によるハッチング領域と、ドットによるハッチング領域と、の面積比を調整することにより、三軸それぞれの検出感度をほぼ等しくすることが可能である。

電極の形成パターンを変えた実施例

前述した基本的な実施例では、第2図に示すよ

うに、固定基板 10 に形成される固定電極 11 を 1 枚の共通電極とし、可撓基板 20 に形成される変位電極を 4 枚の局在電極 21 ~ 24 としている。本発明は、このような構成に限定されるものではなく、これと全く逆の構成にしてもよい。すなわち、固定基板 10 に形成される固定電極 11 を、4 枚の局在電極とし、可撓基板 20 に形成される変位電極を 1 枚の共通電極としてもよい。あるいは、両基板に、それぞれ 4 枚ずつの局在電極を形成することも可能である。また、1 枚の基板に形成される局在電極の数は、必ずしも 4 枚にする必要はない。たとえば、8 枚、16 枚の局在電極を形成してもよい。また、第 13 図に示す可撓基板 20 f のように、2 枚の局在電極 21 f および 23 f のみを形成するようにしてもよい。この場合、Y 軸方向成分についての検出はできないが、X 軸方向成分と Z 軸方向成分とからなる二次元についての検出は可能である。更に、一次元についての検出のみを行うのであれば、両基板ともにそれぞれ 1 枚の電極を形成しておくだけでよい。

— 31 —

固定基板 60 の下面図を示す。第 15 図の固定基板 60 を X 軸に沿って切断した断面が第 14 図に示されている。固定基板 60 は、金属製の円盤状基板であり、周囲は装置筐体 40 に固定されている。この下面には、ガラスなどの絶縁層 65 を介して 4 枚の四分円盤状の固定電極 61 ~ 64 が形成されている。可撓基板 70 は、可撓性をもった金属製の円盤であり、周囲はやはり装置筐体 40 に固定されている。この可撓基板 70 の下面には、円柱状をした作用体 75 が同軸接合されている。可撓基板 70 の上面は、固定電極 61 ~ 64 に対向する 1 枚の変位電極を構成している。この実施例の特徴は、この他に、更に補助基板 80 を設けた点である。第 16 図に、この補助基板 80 の上面図を示す。第 16 図の補助基板 80 を X 軸に沿って切断した断面が第 14 図に示されている。補助基板 80 は、図示のとおり、中央部に円形の貫通孔が形成された金属製の円盤状基板であり、周囲は装置筐体 40 に固定されている。中央部の貫通孔には、第 16 図に一点鎖線で示すように、作

— 33 —

また、電極の形状も円や扇形に限らずどのような形状でもかまわない。各基板も必ずしも円盤状である必要はない。

テスト機能をもった実施例

一般に、何らかの検出装置を量産して市場に流す場合、出荷する前のテスト工程において、正常な検出動作を確認する作業が行われる。前述した加速度検出装置でも、出荷前にテストを行うのが好ましい。加速度検出装置をテストするには、実際に加速度を加え、このときに出力される電気信号を確認するのが一般的である。しかしながら、このようなテストには、加速度を発生させるための設備が必要となり、テスト系が大掛かりとなる。

以下に述べる実施例では、このような大掛かりなテスト系を用いることなしに、出荷前のテストが可能になる。第 14 図は、このテスト機能をもった実施例に係る加速度検出装置の構造を示す側断面図である。この装置の主たる構成要素は、固定基板 60、可撓基板 70、作用体 75、補助基板 80、そして装置筐体 40 である。第 15 図に、

— 32 —

作用体 75 が挿通する。補助基板 80 の上面には、ガラスなどの絶縁層 85 を介して 4 枚の補助電極 81 ~ 84 が形成されている。なお、可撓基板 70 の下面は、この補助電極 81 ~ 84 に対向する 1 枚の補助電極を構成している。このように、可撓基板 70 は、作用体 75 と一体に形成された金属塊であるが、その上面は、固定電極 61 ~ 64 に対向する 1 枚の変位電極として作用し、その下面は、補助電極 81 ~ 84 に対向する 1 枚の補助電極として作用する。

このような構成によれば、固定電極 61 ~ 64 と、これに対向する変位電極（可撓基板 70 の上面）とによって、4 組の容量素子が形成でき、これらの静電容量の変化に基づいて、作用体 75 に加わった加速度を検出することができることは、前述のとおりである。また、補助電極 81 ~ 84 と変位電極（可撓基板 70 の下面）とによって、4 組の容量素子を形成し、加速度を検出することもできる。この装置の特徴は、実際に加速度を作用させることなしに、加速度が作用したのと等価

— 34 —

な状態をつくり出すことが可能な点である。すなわち、各電極間に所定の電圧を印加すると、両者間にクーロン力が作用し、可撓基板70が所定方向に撓むことになる。たとえば、第14図において、可撓基板70と電極63とに異なる極性の電圧を印加すれば、両者間にクーロン力に基づく引力が作用し、可撓基板70と電極81とに異なる極性の電圧を印加すれば、両者間にやはりクーロン力に基づく引力が作用する。このような引力が作用すれば、作用体75に実際には何ら力が作用していなくても、第4図に示すようなX軸方向の力 F_x が作用したときと同じように可撓基板70が撓みを生じることになる。また、可撓基板70と電極81~84に同じ極性の電圧を印加すれば、両者間にクーロン力に基づく斥力が作用し、作用体75に実際には何ら力が作用していなくても、第5図に示すようなZ軸方向の力 F_z が作用したときと同じように可撓基板70が撓みを生じることになる。こうして、各電極に所定の極性の電圧を印加することにより、種々の方向の力が実際に

作用したのと等価な状態をつくり出すことが可能になる。したがって、実際に加速度を加えることなしに、装置をテストすることができる。

また、第14図に示す補助基板80を付加した構造は、過度の加速度が加わった場合に、可撓基板70が損傷することを防ぐことができるという二次的な効果もある。可撓基板70は可撓性をもつ反面、過度の力が加わると損傷する可能性がある。ところが、第14図に示す構造によれば、過度の力が加わった場合でも、可撓基板70の変位は所定の範囲内に制限されるため、損傷に至るまでの過度の変位は生じない。すなわち、第14図における横方向(XまたはY軸方向)に過度の加速度が加わった場合、作用体75の側面が、補助基板80の貫通孔の内面に当接するとともに、撓んだ可撓基板70の上面または下面が固定電極61~64または補助電極81~84に当接し、それ以上の変位は生じない。また、第14図における上下方向(Z軸方向)に過度の加速度が加わった場合、撓んだ可撓基板70の上面または下面

— 35 —

が固定電極61~64または補助電極81~84に当接し、それ以上の変位は生じない。

第17図は、第14図に示す構造の加速度検出装置を、具体的な装置筐体40に収容した状態を示す側断面図である。各電極と外部端子91~93との間は、ボンディングワイヤ94~96により接続されている(実際には、電気的に独立した電極は、それぞれ専用のボンディングワイヤにより、それぞれ専用の外部端子に接続されるが、図では主要な配線のみを示してある)。固定基板60の上面は、装置筐体40の内部天面に接合されており、撓むことのないようにしっかりと保持されている。

圧電素子を利用した実施例

前述した種々の実施例では、外力は静電容量値の変化として検出されるため、実用上は、この静電容量値を電圧値などに変換する処理回路が必要になる。第18図に示す実施例は、圧電素子を利用することにより、このような処理回路を不要にしたものである。この実施例の装置の基本的構成

— 36 —

は、前述した種々の実施例と共通している。すなわち、固定基板10fと可撓基板20fとが対向して装置筐体40内に取り付けられている。この実施例では、両基板とも絶縁体となっているが、金属や半導体で構成してもよい。作用体30fに外力が作用すると、可撓基板20fが撓むことになり、この結果、固定電極11f、12fとこれに対向する変動電極21f、22fとの距離が変化する。前述の実施例では、両電極間距離の変化を静電容量の変化として検出していたが、本実施例ではこれを電圧値として検出できる。そのために、固定電極11f、12fと変動電極21f、22fとの間に挟むように、圧電素子101、102を形成している。両電極間距離が縮めば圧縮力が、伸びれば引張力が、それぞれ圧電素子101、102に作用するので、圧電効果によってそれぞれに応じた電圧が発生される。この電圧は、両電極からそのまま取り出すことができるので、結局、作用した外力を直接電圧値として出力することが可能になる。

— 37 —

—376—

— 38 —

圧電素子101, 102としては、例えば、PZTセラミックス（チタン酸鉛とジルコン酸鉛との固溶体）を用いることができ、これを両電極間に機械的に接続しておけばよい。第18図には側断面のみが示されているが、三次元の加速度を検出するには、第3図に示す電極配置と同様に、4組の圧電素子を配すればよい。あるいは、第11図に示す電極配置と同様に8組（実質的には、このうちZ軸方向についての力を検出する4組は1つにまとめることができる）の圧電素子を配してもよい。また、二次元の加速度を検出するには、第13図に示す電極配置と同様に2組の圧電素子を配すればよい。具体的な装置筐体40に収容した場合も、第17図に示す実施例とほぼ同様の構成となるが、外部端子91～93からは直接電圧値が出力されることになる。

第18図に示す本実施例の二次的な効果は、圧電素子101, 102が可撓基板20fに対する保護機能をもつ点である。すなわち、過度の力が加わった場合でも可撓基板20fは圧電素子

- 39 -

作用する力を直接検出することができる。また、第17図に示す加速度検出装置において、作用体75を鉄、コバルト、ニッケルなどの磁性材料で形成しておけば、磁界の中に置いたときに、作用体75には磁気に基づく力が作用するため、磁気を検出することが可能になる。このように、本発明は磁気検出装置にも適用しうるものである。

〔発明の効果〕

以上のとおり本発明による力検出装置によれば、検出対象となる力によって変位する変位電極と、これに対向して固定された固定電極と、によって形成される容量素子の静電容量の変化、あるいはこれらに挟まれた圧電素子の出力、に基づいて力の検出を行うようにしたため、温度補償を行うことなく、力、加速度、磁気などの物理量を検出することができる検出装置を安価に実現しうるようになる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、本発明の基本的な実施例に係る加速

101, 102の存在により所定限度までしか変みを生じないので、損傷を受けることがない。また、前述したテスト機能をもった実施例と同様に、両電極間にクーロン力を作用させた擬似テストを行うことも可能である。

その他の実施例

以上、本発明をいくつかの実施例に基づいて説明したが、本発明はこれらの実施例のみに限定されるものではなく、この他にも種々の態様で実施可能である。特に、上述の実施例では、作用体に加わる加速度を検出する加速度検出装置に本発明を適用した例を示したが、本発明の基本概念は、作用体に何らかの物理現象に基づいて作用する力を検出する機構にあり、加速度ではなく、力を直接検出する装置にも勿論、適用可能である。第19図は、第17図に示す加速度検出装置とほぼ同じ構造をもつ力検出装置の側断面図である。装置筐体40の下面に貫通孔42が形成され、この貫通孔42には、作用体75から伸びた触子76が挿通している。こうして、触子76の先端部に

- 40 -

度検出装置の構造を示す側断面図、第2図は第1図に示す装置における固定基板の下面図、第3図は第1図に示す装置における可撓基板の上面図、第4図は第1図に示す装置にX軸方向の力 F_x が作用した状態を示す側断面図、第5図は第1図に示す装置にZ軸方向の力 F_z が作用した状態を示す側断面図、第6図は第1図に示す装置における力検出原理を示す表、第7図は第1図に示す装置に適用するための検出回路図、第8図は第1図に示す装置における各基板を金属材料によって構成した実施例を示す図、第9図は第1図に示す装置における各基板を絶縁材料によって構成した実施例を示す図、第10図は第1図に示す装置における各基板を半導体材料によって構成した実施例を示す図、第11図は本発明の別な実施例に係る加速度検出装置の可撓基板の上面図、第12図は第11図に示す実施例の装置に適用するための検出回路図、第13図は二次元についてのみの検出を行う実施例の可撓基板の上面図、第14図はテスト機能をもった実施例に係る加速度検出装置の構

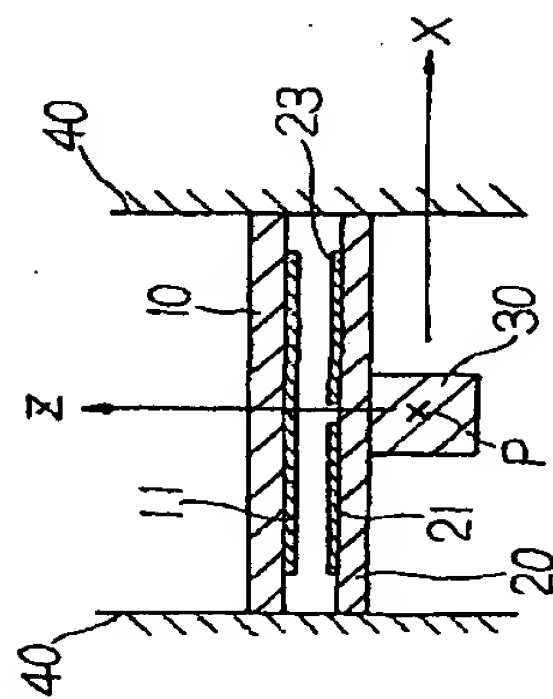
- 41 -

-377-

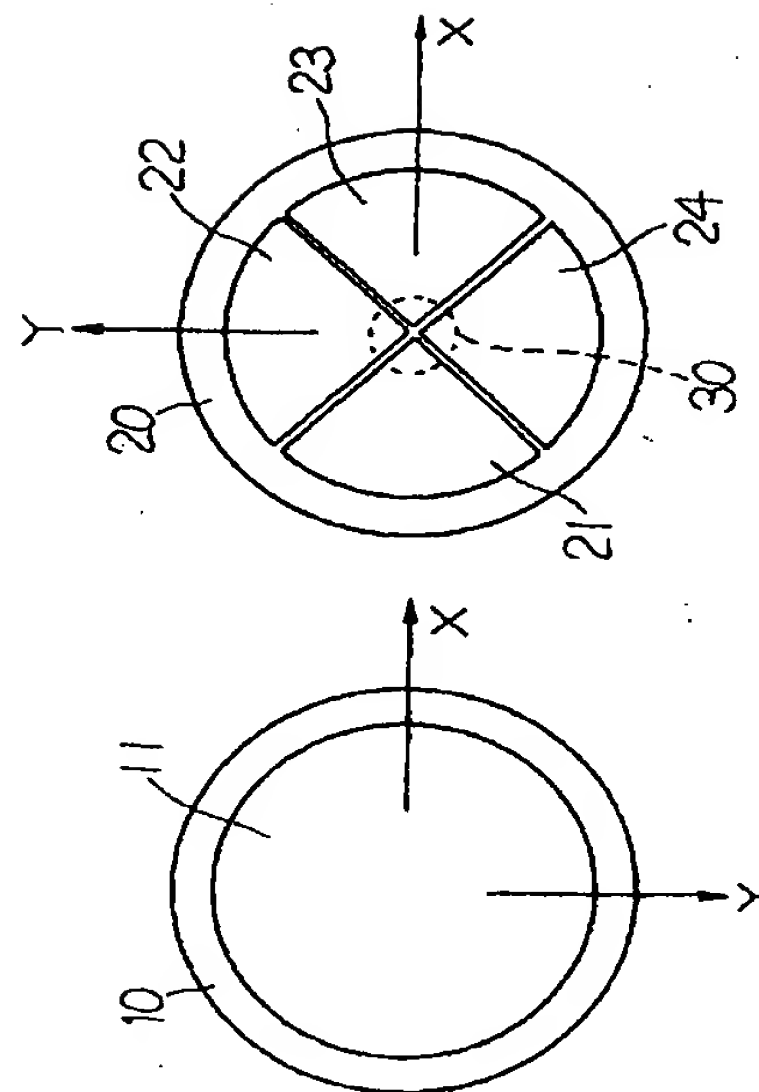
- 42 -

造を示す側断面図、第15図は第14図の装置における固定基板の下面図、第16図は第14図の装置における補助基板の上面図、第17図は第14図に示す構造の加速度検出装置を具体的な装置筐体40に収容した状態を示す側断面図、第18図は圧電素子を利用した実施例の構造を示す側断面図、第19図は第17図に示す加速度検出装置とほぼ同じ構造をもつ力検出装置の側断面図である。

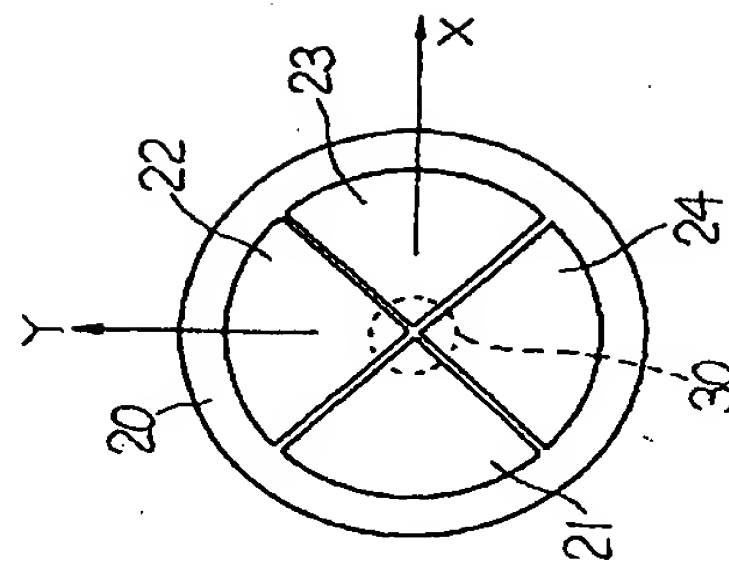
10…固定基板、11…固定電極、20…可撓基板、21～24…変位電極、25…絶縁層、30…作用体、40…装置筐体、41…支持溝、42…貫通孔、51～54…変換器、55、56…差動増幅器、57…加算器、58…変換器、60…固定基板、61～64…固定電極、65…絶縁層、70…可撓基板、75…作用体、76…触子、80…補助基板、81～84…補助電極、85…絶縁層、91～93…外部端子、94～96…ボンディングワイヤ、101、102…圧電素子、P…作用点。



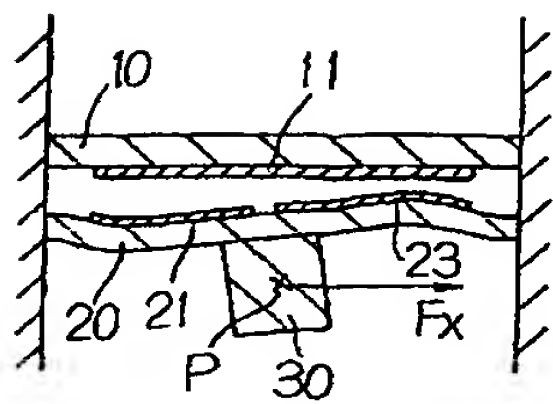
第1図



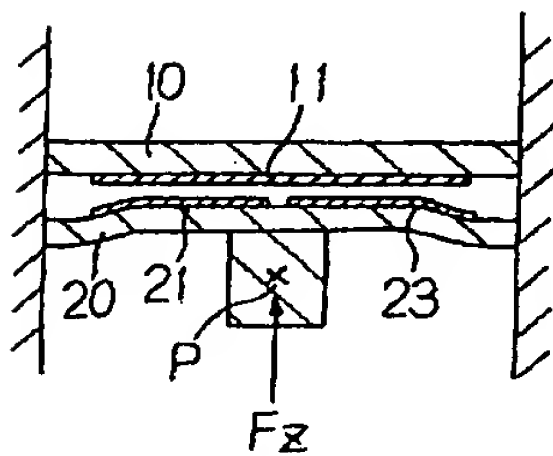
第2図



第3図



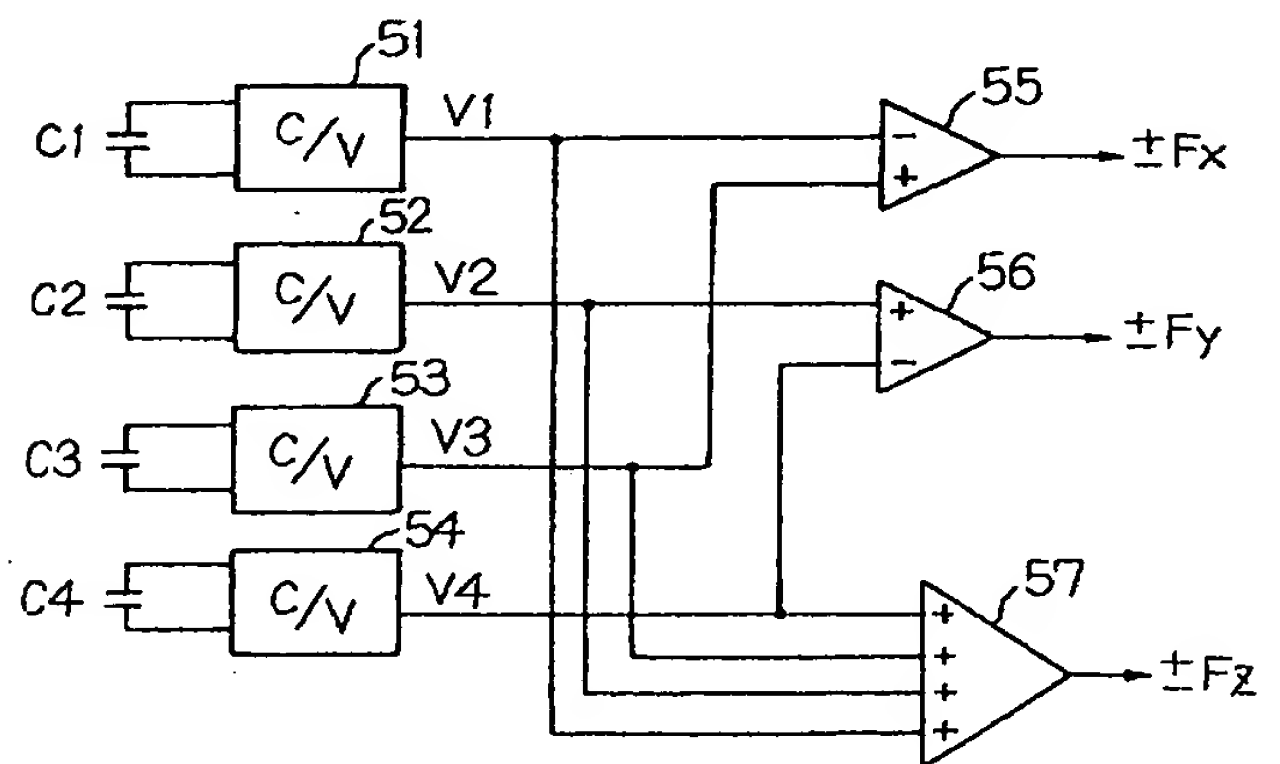
第4図



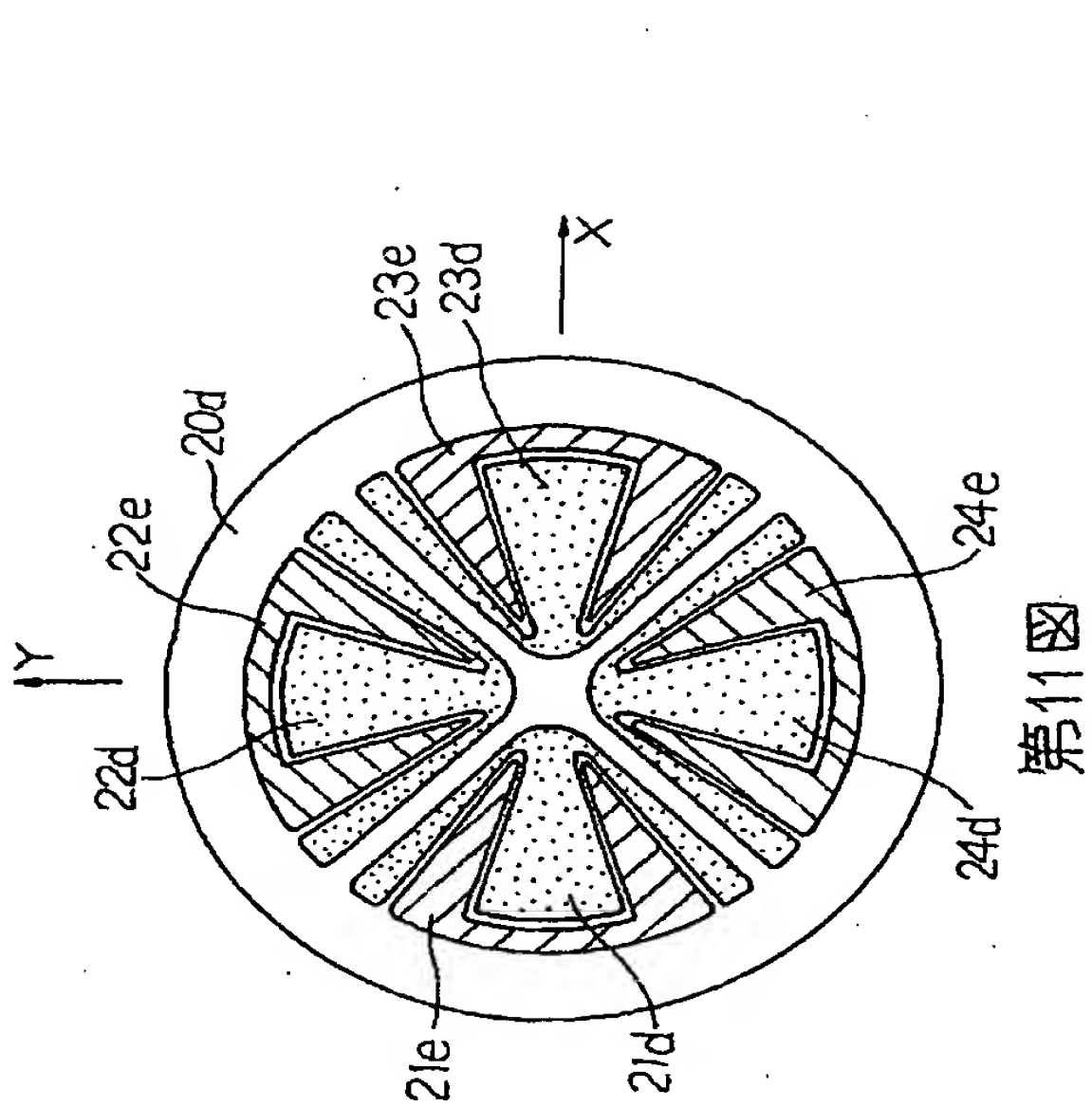
第5図

	F_x	$-F_x$	F_y	$-F_y$	F_z	$-F_z$
C1	-	+	0	0	+	-
C2	0	0	+	-	+	-
C3	+	-	0	0	+	-
C4	0	0	-	+	+	-

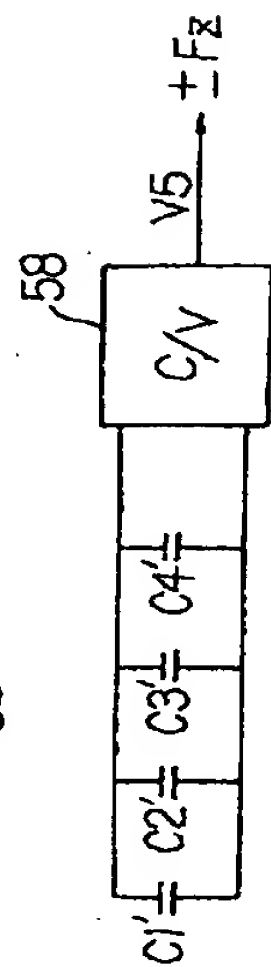
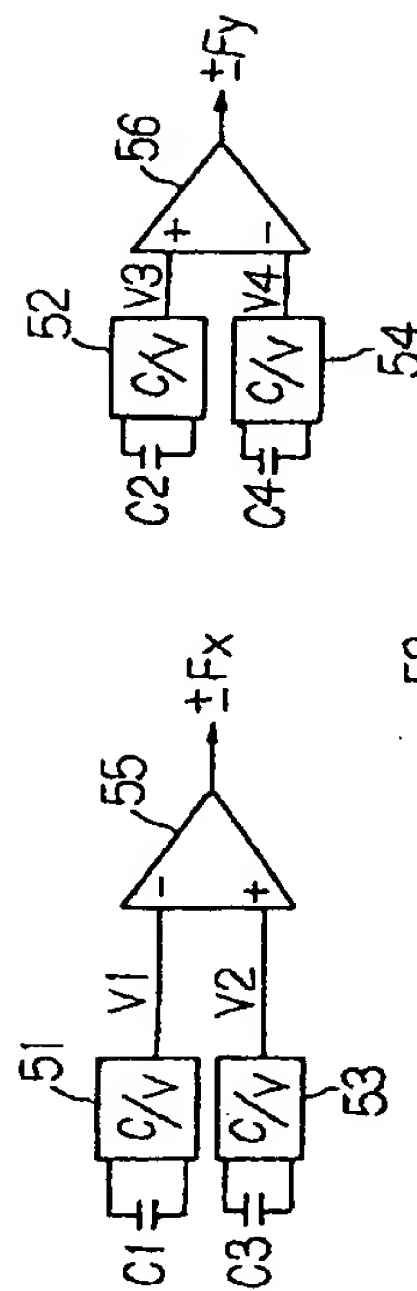
第6図



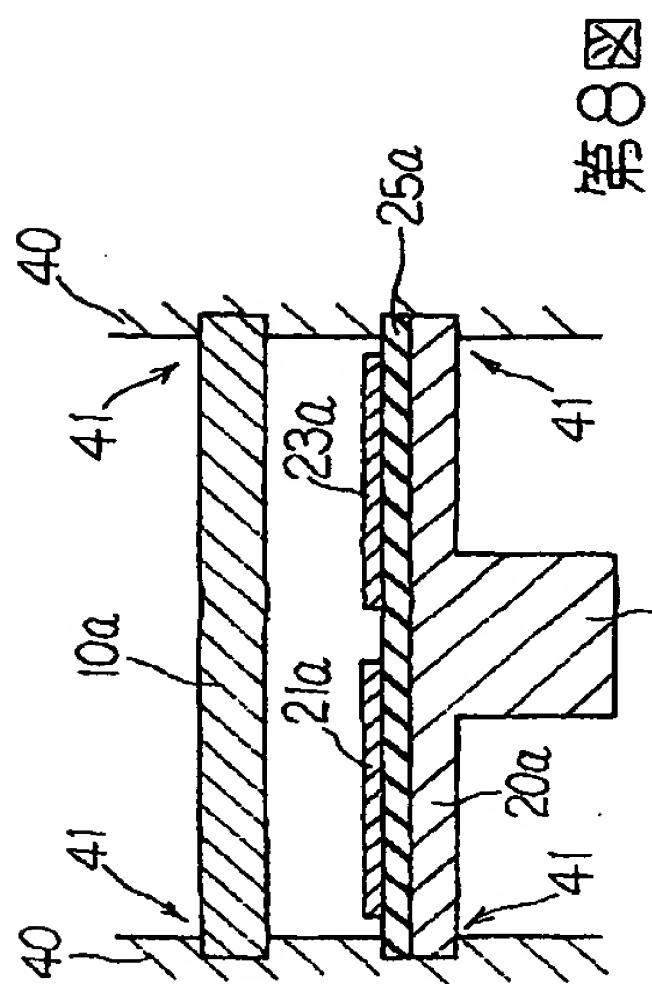
第7図



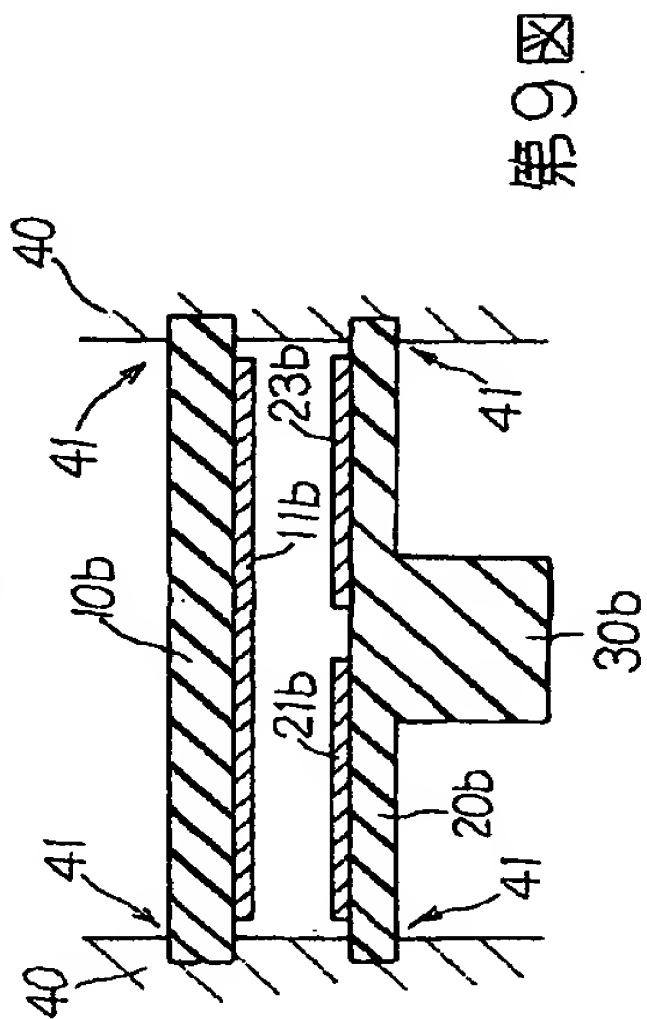
第11図



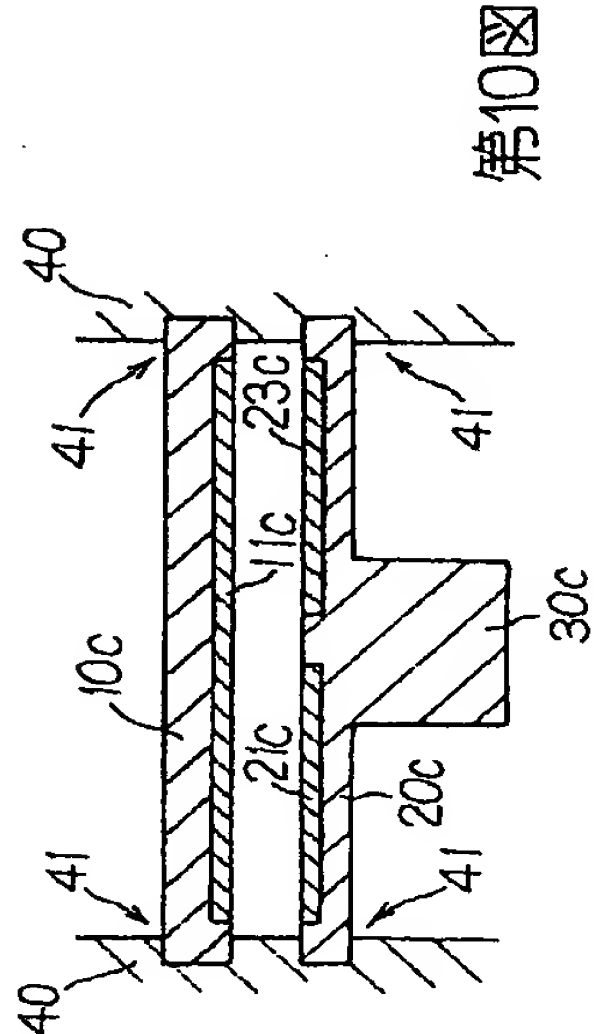
第12図



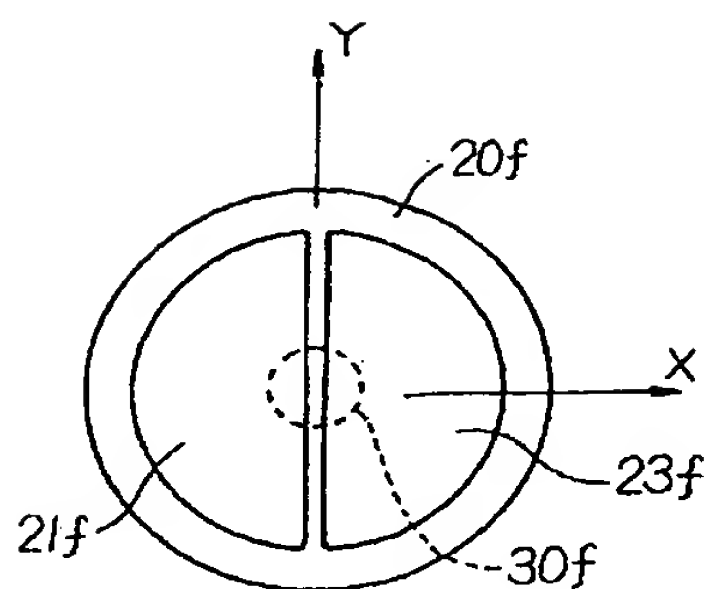
第8図



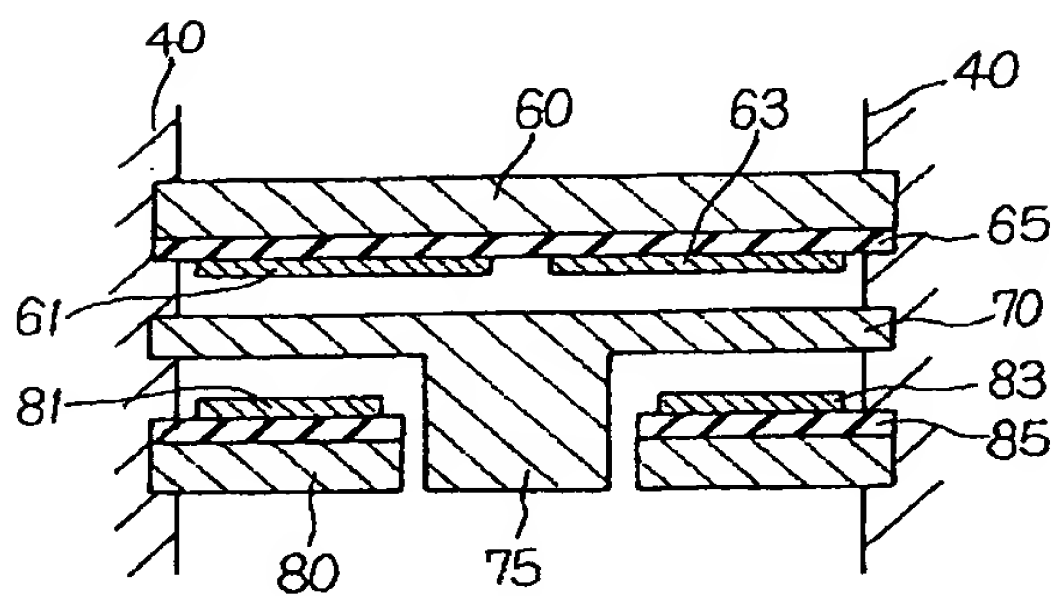
第9図



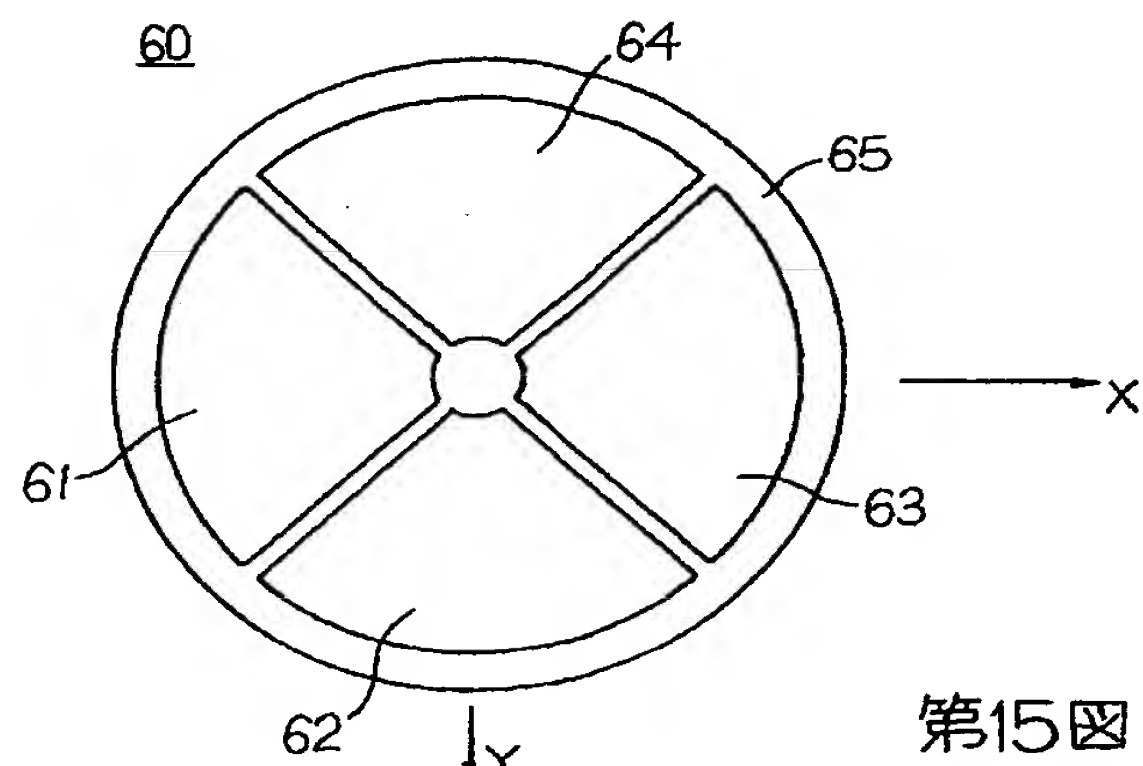
第10図



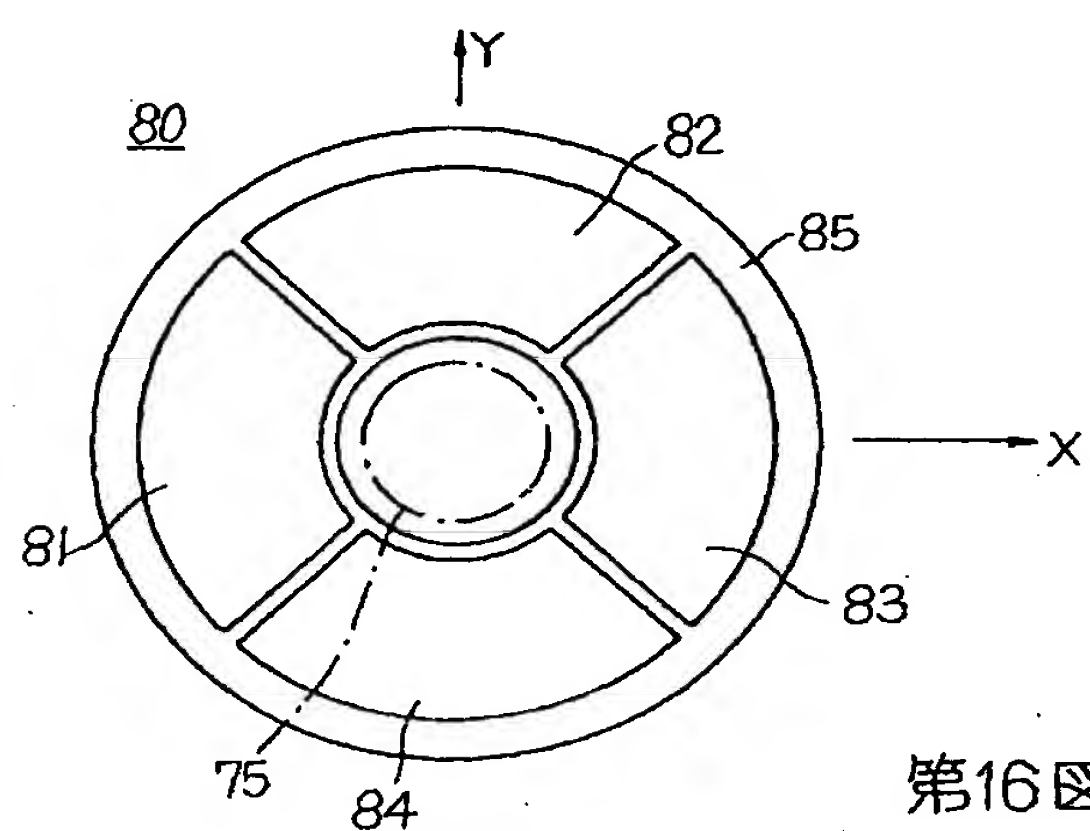
第13図



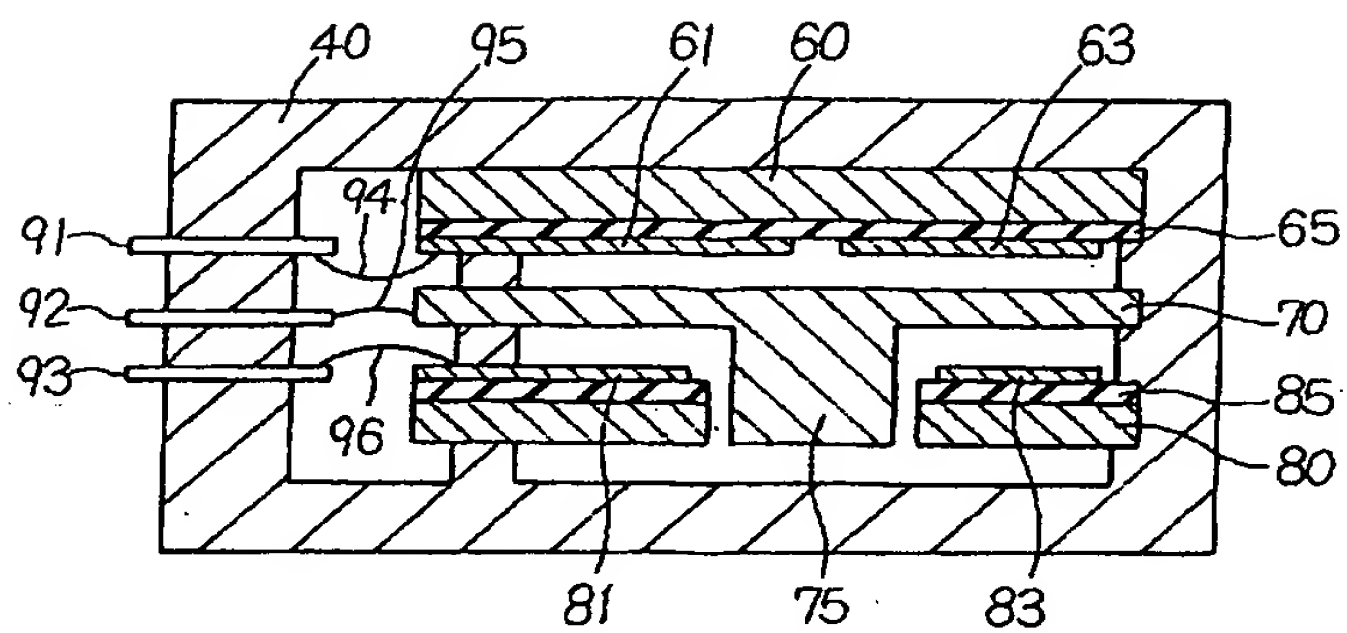
第14図



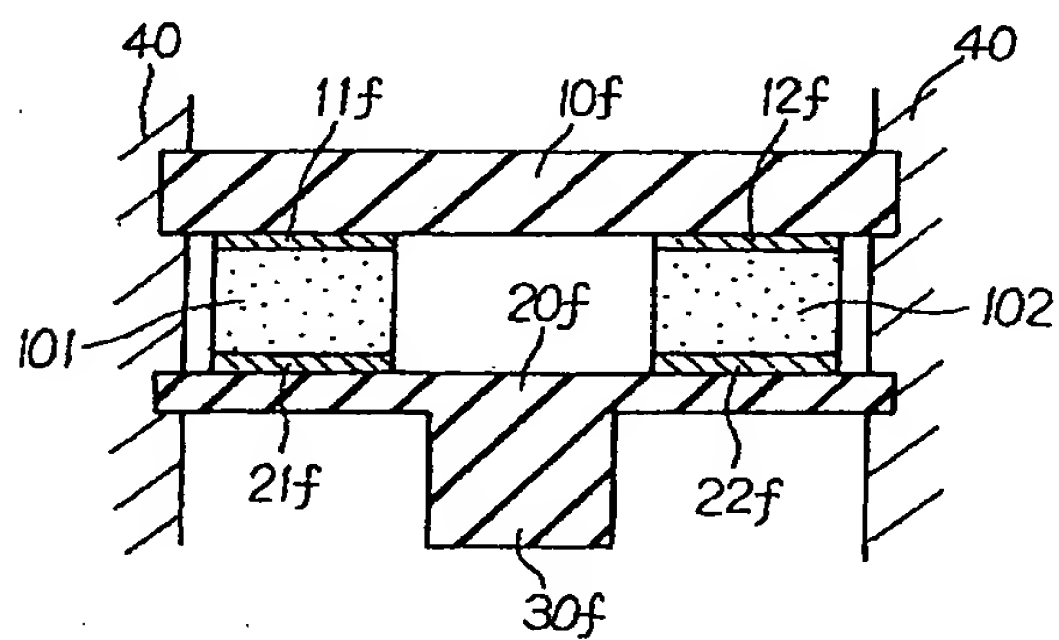
第15図



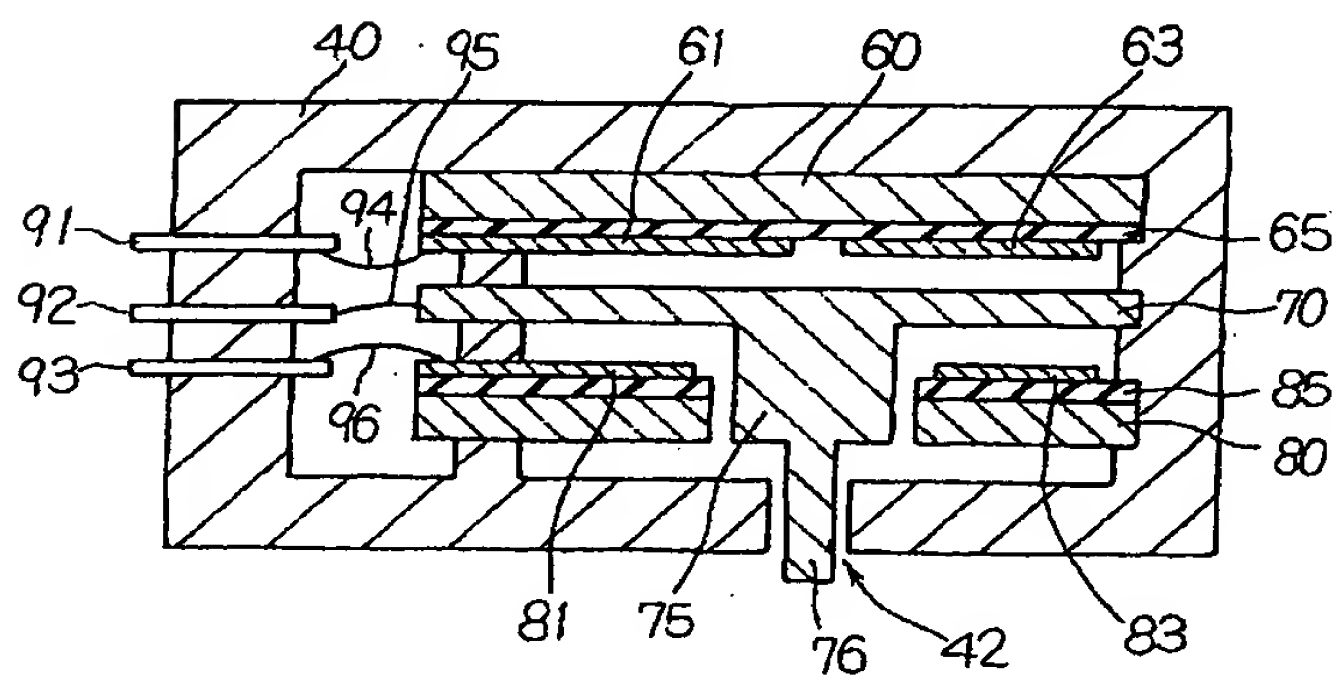
第16図



第17図



第18図



第19図